

자율주행기반 모빌리티 서비스 도입을 위한 운행설계영역 관점의 도로환경 분석*

우보람¹ · 김아름¹ · 안용준² · 탁세현³

A Road Environment Analysis for the Introduction of Connected and Automated Driving-based Mobility Services from an Operational Design Domain Perspective*

Bo-Ram WOO¹ · Ah-Reum KIM¹ · Yong-Jun AHN² · Se-Hyun TAK³**

요 약

최근 자율주행 기술이 상용화 단계로 접어들며, 자율주행기반 모빌리티 서비스를 제공하는 서비스 플랫폼이 늘어나고 있다. 현재 자율주행 기반 모빌리티 서비스들은 자율주행차량의 주행 성능과 기능에 초점을 맞추어 서비스를 제공하고 있으므로 모빌리티 수단별 교통수요와 통행 특성을 고려한 서비스 지역을 선정하는 데에 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 기존 모빌리티 서비스인 택시와 수요응답형 교통수단, 특별교통수단의 실제 교통 데이터를 활용하여 모빌리티 수단별 통행 특성을 분석하고 자율주행 적용 가능성을 검토한다. 이를 위해 모빌리티 서비스별 주요 사용 네트워크를 도출하고 전문가 조사를 기반으로 네트워크별 자율주행 난이도를 산정하여 모빌리티 서비스별 자율주행 적용 지수를 산출한다. 분석 결과, 수요가 분산된 형태의 모빌리티 서비스보다는 밀집된 형태의 서비스에서 자율주행 서비스 제공이 효율적인 것으로 확인된다. 또한 네트워크에 할당된 통행수요가 높고 자율주행 난도가 낮은 분포가 가장 큰 것은 특별교통수단으로 도출되었다.

주요어 : 자율협력주행, 운행설계영역, 교통약자, 모빌리티 서비스, 특별교통수단, 수요응답형 교통수단

ABSTRACT

2022년 11월 16일 접수 Received on November 16, 2022 / 2022년 11월 25일 수정 Revised on November 25, 2022 / 2022년 12월 02일 심사완료 Accepted on December 02, 2022

* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(22AMDP-C160549-02)으로 수행하였습니다.

1 한국교통연구원 광역도시교통연구본부, 연구원 / Researcher, Korea Transport Institute, Department of Metropolitan and Urban Transport

2 대전세종연구원 세종연구실, 실장 / Director, Daejeon Sejong Research Institute

3 한국교통연구원 모빌리티전환연구본부 자율협력주행연구센터, 부연구위원 / Associate Research Fellow, Korea Transport Institute, Department of Mobility Transformation, Center for Connected and Automated Driving Research

** Corresponding Author E-mail: sehyun.tak@koti.re.kr

As connected and automated driving(CAD) technology is entering its commercialization stage, service platforms providing CAD-based mobility services have increased these days. However, CAD-based mobility services with these platforms need more consideration for the demand for mobility services when determining target areas for CAD-based mobility services because current CAB-based mobility design focus on driving performance and driving stability. For a more efficient design of CAD-based mobility services, we analyzed the applicability for the introduction of CAD-based mobility services in terms of driving difficulty of CAD and demand patterns of current non-CAD based-mobility services, e.g., taxi, demand-responsive transit(DRT), and special transportation systems(STS). In addition, for the spatial analysis of the applicability of the CAD-based mobility service, we propose the Index for Autonomous Driving Applicability (IADA) and analyze the characteristics of the spatial distribution of IADA from the network perspective. The analysis results show that the applicability of CAD-based mobility services depends more on the demand patterns than the driving difficulty of CAV. In particular, the results show that the concentration pattern of demand in a specific road link is more important than the size of demand. As a result, STS service shows higher applicability compared to other mobility services, even though the size of demand for this mobility service is relatively small.

KEYWORDS : *Connected and Automated Driving(CAD), Operational Design Domain(ODD), Transportation Vulnerable, Mobility Services, Special Transit System(STS), Demand-responsive Transit(DRT)*

서 론

1. 연구의 배경 및 목적

자율주행 기술이 고도화됨에 따라 자율주행을 기반으로 하는 모빌리티 서비스 도입과 관련된 연구와 실증 사업을 위한 플랫폼이 늘어나고 있다. 자율주행 기반의 모빌리티 서비스는 운행설계영역(ODD, Operational Design Domain)을 기반으로 운행되며, 공간적인 서비스 영역인 지오펜스 영역(Geo-fenced area) 내에서 자율주행 서비스를 제공한다. 이에 자율주행 기반 모빌리티 서비스는 자율주행 성능 향상을 중심으로 차량 개발 기관에서 기술력 관점에 초점을 맞춰 서비스 지역을 선정한다. 반면 기존 모빌리티 서비스는 서비스 효율성 향상을 위주로 노선을 배정하고 다양한 수요를 만족하기 위해 네트워크 단위의 서비스를 제공한다는 특징을 가진다. 자율주행기반 모빌리티 서비스 상용화 단

계인 현재, 수요를 고려한 모빌리티 서비스를 자율주행 모빌리티 서비스로 제공하는 것은 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 자율주행 기반 모빌리티 서비스의 상용화를 위해 수요를 고려한 모빌리티별 통행 행태를 분석하고 자율주행 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 선행연구 고찰

1) 기존 모빌리티 서비스의 서비스 구역 선정 조건

버스, 도시철도 등 도시교통서비스로 제공되고 있는 수단의 노선을 선정하기 위한 결정요인으로 여러 선행연구에서는 이용수요를 중심으로 연구가 진행됐다. Lee *et al.*(2014)는 교통약자의 기종점을 구축하여 저상버스의 효과적인 노선 운영과 교통약자의 효과적인 이용효율을 위해 이용수요를 바탕으로 한 노선선정 방안을 검토하였다. 그 결과 교통약자 밀집 지역을 기종점으로 하는 노선이 가장 우선으로 도입되어

야 하며, 인구 200,000명을 이상일 경우 고정 노선을, 이하일 경우 수요응답형 노선을 제공하는 것이 효율과 경제적 측면에서 가장 적절한 저상버스 도입방안으로 분석되었다. Ahn and Lee(2006)는 정류장 기반 대중교통 기중점을 구축하고, 대중교통 통행 배정을 통해 특정한 두 지점 간의 최단 경로를 탐색하였다. Park and Nam(2015)은 저상버스 노선이 교통약자의 통행 특성을 반영하지 않은 채 운행되고 있는 실정을 문제점으로 제시하며 교통약자 이용 편리성 측면에서 저상버스 노선 조정안을 제시하였다. Jang *et al.*(2011)은 이동성 지표와 잠재수요에 대한 개념을 새로 정립하고 대중교통 이동성 취약지역을 연결하는 대중교통 직결노선 선정 방법을 제시하였다. Fan and Machemehl(2006)은 대중교통 수요를 비용화하고 유전 알고리즘(genetic algorithm)을 사용하여 최적의 버스 노선을 산정하는 연구를 수행하였다. Maurizio *et al.*(2002)는 버스 노선의 최적화를 위해 유전 알고리즘을 사용하고 OD 수요를 통해 다수의 성능지표를 계산하여 평가하였다. 이처럼 기존 교통서비스는 교통수요를 고려한 서비스 구역을 선정하는 연구가 진행되고 있다.

2) 자율주행 실증지역 선정 조건

자율주행 서비스를 제공하기 위한 기술개발은 신뢰성 평가를 위해 실도로 기반의 실증이 이루어져야 한다. 이에 MOLIT(2018)에서는 교통물류 연구사업의 일환으로 자율주행기반 대중교통시스템 실증 대상지를 선정하기 위한 조건을 제시하고 이에 부합하는 지역을 갖춘 지자체를 선정하였다. 제시된 조건은 총 5가지로, 대중교통(버스) 인프라 환경, 첨단도로교통시스템 환경, 연구개발 기술/서비스 적용성, 예산의 가용성, 전담 인력이다. 2020년에는 도심 도로 자율협력주행 안전, 인프라 연구사업의 일환으로 도심 도로 자율협력주행 안전, 인프라 연구 실증 대상지를 선정하기 위한 공모를 시행하였다(MOLIT, 2022). 이때 제시된 조건은 왕복 4차로 이상 3연속 교차로로 구성된 도시 내 도로 구간이어야 하며, 우회가 가능하도록 대안 도로를 갖추어야

하는 등의 도로 조건이 제시되었다. 또한 연구개발 기술 및 서비스 적용성, 추진 의지 등에 부합하는 지자체를 선정하였다. Son *et al.*(2021)은 2018년, 2020년 국토교통부에서 추진된 연구를 통해 도시부 도로 자율협력주행 서비스 실증을 위한 도로, 교통, 환경조건에서의 실증시나리오 개발내용을 소개하였다. 이처럼 기존 교통서비스의 서비스 구역을 선정하는 조건과는 다르게 자율주행 실증지역이 선정되어왔다.

3) 시사점

기존 교통서비스의 노선을 선정하는 관련 연구에서는 수요를 최대화하고 비용을 최소화하기 위한 노선선정 방안이 제시되었으며, 교통서비스는 운영자의 운영 효율 및 이용자의 이용효율을 충족시키기 위해서는 이용수요를 기반으로 한 노선선정과 관련된 연구가 활발히 진행되었다. 그러나 현재 지정되고 있는 자율주행 실증지역은 기술개발 도입의 용이성, 예산의 가용성, 도로 인프라의 구축 편의성 등을 기준으로 선정되고 있다. 이처럼 자율주행 실증지역은 자율주행 기술력을 검증할 수 있는 물리적 환경(도로 환경, 인프라, 기술 및 서비스 적용 용이성 등) 우선시 되어 교통수요는 고려되지 않은 채 지정되어왔다. 따라서 자율주행기반 모빌리티 서비스가 적용되기 위해서는 기존 교통서비스 수요를 고려함과 동시에 자율주행기반 모빌리티 서비스의 적용 가능성이 높은 지역 및 수단 선정의 기준이 필요하다.

연구 방법

1. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 그림 1과 같이 세종특별자치시 행정중심복합도시(이하 세종시 행복도시) 1생활권이다. 세종시 행복도시는 6개의 기능별 생활권역으로 구분되어 지구단위계획이 수립되어 있다. 중앙행정 중심의 1생활권은 고운동, 아름동, 종촌동, 도담동, 어진동 5개의 행정동이 포함된 생활권으로 가장 먼저 지구단위

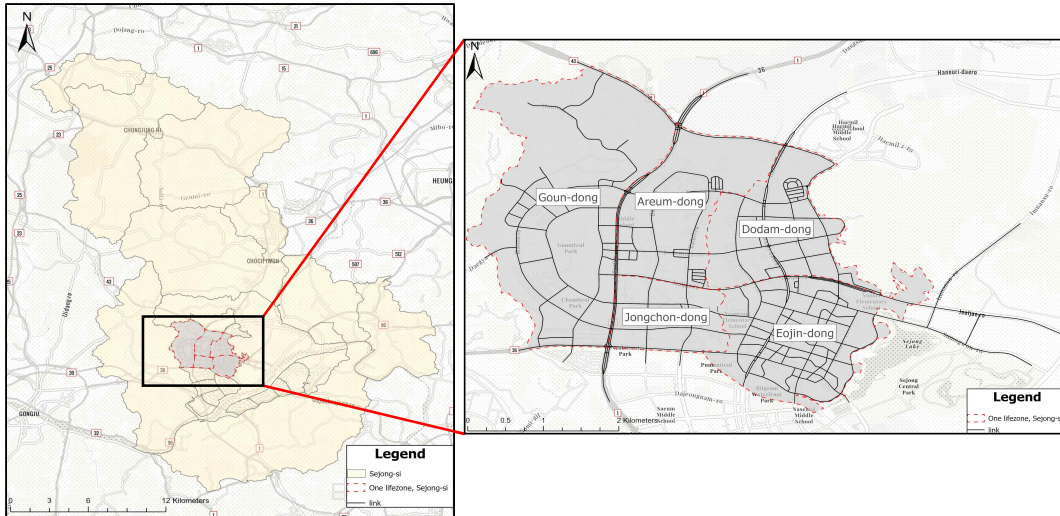


FIGURE 1. Study area

계획이 조성된 지역으로서 다른 생활권에 비해 다양한 모빌리티 서비스가 제공되고 있는 지역이다. 시간적 범위는 2019년부터 2021년 중 모빌리티 서비스별 교통수요가 가장 많은 1일로 정의하였으며, 네트워크의 1일 최대 사용 빈도를 확인하기 위함이다.

본 연구에서는 모빌리티 서비스의 수요 데이터를 활용하여 모빌리티 서비스의 통행 특성을 분석하고 자율주행 적용 가능성을 검토하고자 한다. 활용 데이터는 택시, 수요응답형 교통수단(DRT, Demand Responsive Transport), 특별교통수단(STS, Special Transportation Services)의 이력 자료이며 기종점 이력 자료를 바탕으로 모빌리티 서비스별 통행 특성을 분석한다. 이를 통해 ArcGIS Pro를 활용하여 모빌리티 서비스별 통행 빈도를 도출한다. 또한 전문가 조사를 바탕으로 정의된 세종시 행복도시 1생활권의 네트워크별 자율주행 운행설계영역 난도를 도출하여 모빌리티 서비스별 자율주행 적용 가능성을 분석하고자 한다.

2. 기존 모빌리티 수단별 행태 분석

본 연구에서 분석하고자 하는 모빌리티 서비스 수단은 택시, 수요응답형 교통수단, 특별교통

수단이다. 택시는 준대중교통의 성격을 띠는 교통수단으로 승객이 가고자 하는 목적지까지 요금을 받고 태워다주는 영업용 승용차를 의미한다. 또한 공공교통이라 하더라도 버스와 지하철과는 다른 특성을 가지는 교통수단으로 개인의 선택에 따라 활용되는 통행수단이다. 버스나 지하철 등의 대중교통수단과 다른 점은 정해진 노선으로 가는 것이 아닌 door-to-door 서비스를 제공한다는 점에서 버스나 지하철과 차이가 있다. 반면 TS의 정의에 따르면 수요응답형 교통수단은 버스나 지하철 등의 대중교통수단과 다르게 노선을 정하지 않고 수요자의 응답에 따라 정류장과 운행구간, 운행시간 등을 탄력적으로 운영하는 모빌리티 서비스이다. 특히 인구 밀도나 대중교통의 수요가 낮은 지역 등에서 이동권 보장과 통행의 편의를 위해 제공되는 서비스로, 택시의 door-to-door 서비스와 버스의 대량 수송의 장점을 결합한 준대중교통의 성격을 가진 서비스이다. 마지막으로 특별교통수단은 이동에 심한 불편을 느끼는 교통약자의 이동 지원을 위해 휠체어 탑승설비 등을 장착한 차량이다(MOLIT, 2020). 주로 장애인의 요청에 따라 호출되며 콜택시와 유사하게 운영된다는 특징을 가진다. 시장 및 군수가 운영권을 가지며,

150명당 1대 이상 운영되도록 규정되어있다. 지자체별 조례로 정하는 바에 따라 실질적인 이용대상이 정해지므로 지역별로 이용대상의 차이가 있으며, 특별교통수단이 택시와 수요응답형 교통수단과의 차이점은 이용대상이 정해져 있다는 점이다. 또한, 다른 모빌리티 서비스와 다르게 통행목적이 비교적 단조로우며 이용자의 범위가 제한된 특징을 가진 모빌리티 서비스이다.

따라서 본 연구에서는 특성이 다른 택시, 수요응답형 교통수단, 특별교통수단의 이력 자료를 바탕으로 모빌리티 서비스별 통행 특성을 파악한다. 이를 위해 기종점이 모두 세종시 행복도시 1생활권 내 통행인 수요로 한정하고 국가교통DB에서 제공하는 도로망을 가공하여 ArcGIS Pro의 네트워크 분석의 최단거리를 통해 네트워크별 통행 빈도를 할당하고자 한다.

3. 도로환경에 따른 자율주행 난이도 분석

본 연구에서는 도로 환경에 따른 자율주행 난이도 분석을 위해 자율주행 운행설계영역을 분류하고자 한다. J3016, J3216, AVSC lexicon 문서(SAE International)에서는 자율주행에 관한 기술 단계 정의와 분류 체계를 제시하고 있으며, A Framework for Automated Driving System Testable Cases and Scenarios 문서(NHTSA)에서 발간한 문서에 따르면 운행설계

영역을 물리적 인프라, 환경적 조건, 작동계약조건, 물체, 구역, 연결성으로 분류 체계를 정의한다. 이에 본 연구는 SAE, NHTSA에서 정의한 운행설계영역에 따라 물리적 인프라, 환경적 조건, 작동계약조건, 물체, 구역, 연결성으로 운행설계영역을 재분류하였으며 운행설계영역별 세부 항목은 국내 도로 시설물과 인프라 등을 기준에 맞게 정의하였다.

자율주행기반 모빌리티 서비스의 적용 난이도 설정을 위해 자율주행 표 1과 같이 운행설계영역을 5개의 상위 분류, 64개의 하위 분류로 분류하고 64개의 하위 분류를 282개의 항목으로 구분한다. 예를 들어, 상위 분류 체계에 해당하는 물리적 인프라(Physical Infrastructure)의 하위 분류인 중앙분리대(Central Reservation)의 세부 항목은 녹지형과 탄력형, 콘크리트형, 개방형 중앙분리대로 세부항목화하여 구분한다. 세부 항목별 운행설계영역 난이도를 정의하기 위해 자율주행차량 연구기관과 자율주행 실증서비스를 제공하는 기업의 자율주행 전문가를 대상으로 운행설계영역 난이도 설문조사를 실시하였다. 자율주행 적용 난이도는 1-4까지로 1(쉬움), 2(보통), 3(어려움), 4(불가능)로 구분한다.

설문조사 결과를 바탕으로 세종시 행복도시 1생활권의 도로 구간별 자율주행 적용 난이도를 분석하기 위해 국가교통 DB에서 제공하는 도로

TABLE 1. ODD Classification

ODD Top Category	ODD Sub Category
Physical Infrastructure	Central Reservation, Non-Central Reservation, Single Lane, Managed Lanes, One Way, Two Way, Reversible lanes, Weaving Section, On-off Ramps, Weaving Section, 4-way, 3-way, Pocket, Roundabout, Pocket, Right turn, U-turn, Multiple turn lane, Signal crosswalk, Non-Signal crosswalk, railroad crossing, Interchange(Ramps), Speed bump, Road surface type, State of surface, State of lanes, Road Surface Obscurants, Marking type, Pedestrian road, Curb, Shoulder, Vertical Curvature, Horizontal Curvature, Curbs
Environmental Conditions	Wind, Rain, Snow, Sky Condition Weather-Induced Roadway Conditions, Fog, Smoke Smog, Illumination, Dusk(Sun angle), Street Lights, Oncoming Vehicle Lights
Operation Constraints	Traffic Jam
Objects	Traffic Light, Traffic Light illumination Pattern, Traffic Sign, Vehicles, Agricultural Equipment, Personal Mobility, Pedestrian, Wheelchair User, Non-Roadway Users Obstacles, On-Street Parking
Zones	Geofencing, Facility, Stop Station, Hospital Zone, Welfare Center, Village Hall, Parking Garage, Traffic Management Zones, Interference Zones

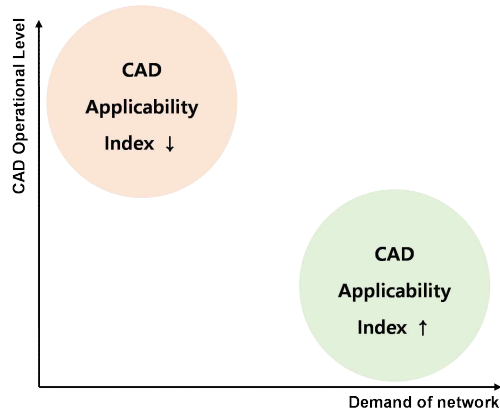


FIGURE 2. Concept of autonomous driving applicability index

망을 기반으로 710개의 노드, 1,656개 도로 네트워크의 물리적 도로 시설물을 조사한다. 이를 통해 자율주행 운행설계영역 난이도를 조합하여 네트워크별 자율주행 주행 난이도를 도출한다.

4. 자율주행 모빌리티 도입 여건 비교 분석

기존 모빌리티 수단별 행태 분석을 통해 모빌리티 수단별로 네트워크에 통행량을 할당하여, 세종시 행복도시 1생활권의 네트워크별 자율주행 운행설계영역 난이도를 산출한 결과를 바탕으로 자율주행기반 모빌리티 서비스의 적용이 적절한 모빌리티 서비스를 도출하고자 한다. 이를 위해 모빌리티 서비스별 자율주행 적용 지수를 산정하고자 한다. 자율주행 적용 지수는 자율주행 적용 난도 대비 네트워크별 통행 빈도로 산정하며, 통행 빈도가 높고 적용 난도가 낮을수록 자율주행 적용 지수는 높게 도출된다. 자율주행 적용 지수에 대한 개념은 그림 2와 같다. 다만, 네트워크별 자율주행 난도와 모빌리티 서비스별 통행 빈도의 특성과 범위가 다르므로 차이를 왜곡하지 않고 공통 척도로 변경하기 위해 0에서 1 사이의 값으로 정규화한다.

결과 및 고찰

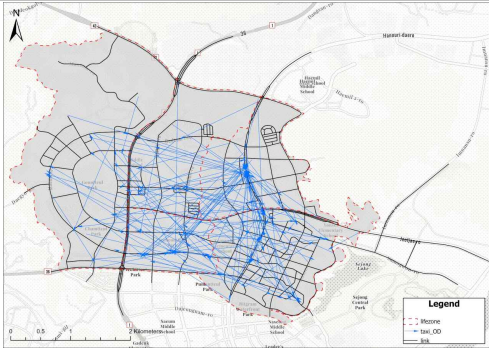
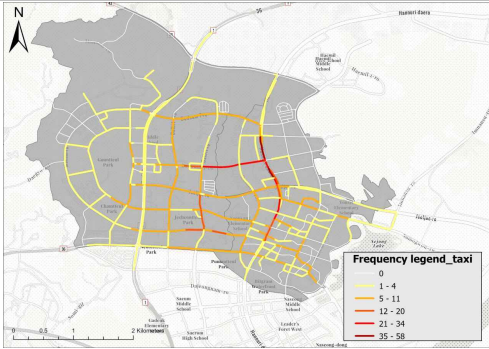
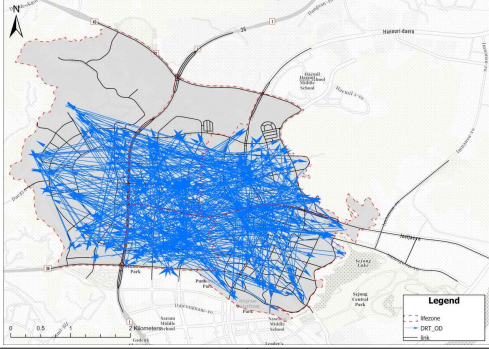
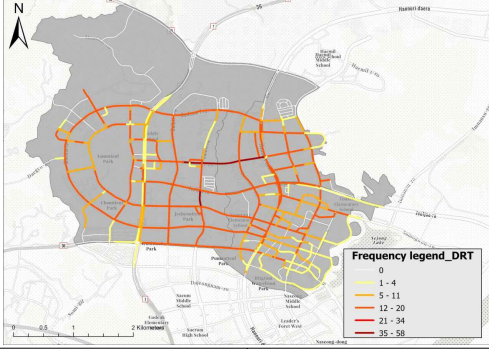
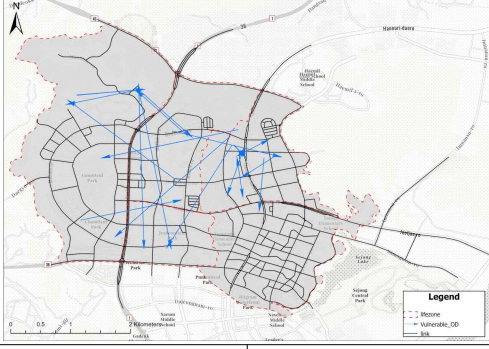
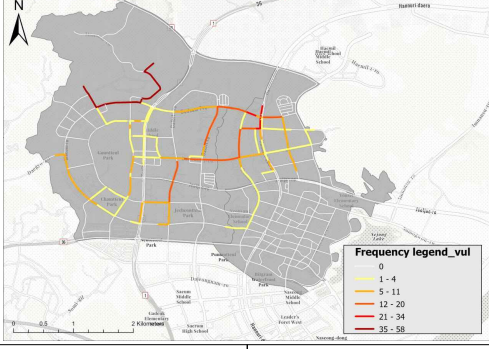
1. 기존 모빌리티 수단별 행태 분석 결과

본 연구에서는 실제 모빌리티 서비스 이력 자료를 기반으로 택시, 수요응답형 교통수단, 특별교통수단의 수단별 통행 행태를 분석하였다. 연구의 공간적 영역 내에서만 통행하는 모빌리티 서비스별 이력 자료를 통해 최단 거리로 경로를 도출하였으며, 각 모빌리티 서비스가 이용하는 네트워크의 공간적 분포와 해당 네트워크의 통행 빈도를 분석하였다. 택시, 수요응답형 교통수단, 특별교통수단이 서비스를 제공할 때 네트워크별 통행 특성은 표 2와 같이 나타난다.

이동 통행량의 크기와 기종점의 분포가 상이한 모빌리티 서비스는 연구 대상지의 도로 네트워크를 다르게 활용하고 있는 결과가 도출되었다. 모빌리티 서비스별 네트워크 사용 비율을 살펴보면 수요응답형 교통수단의 경우 모든 1생활권 내의 1,656개의 네트워크 중 67%에 해당하는 1,115개의 네트워크를 사용하여 모빌리티 서비스를 제공한다. 반면 특별교통수단은 전체 네트워크 중 20%에 해당하는 330개의 네트워크를 사용하여 129통행에 대한 서비스를 제공하는 것으로 분석되었다. 모빌리티 서비스 이용 특성에 따라 택시, 수요응답형 교통수단, 특별교통수단의 네트워크 이용 분포 특성이 다르게 나타남을 알 수 있다.

또한, 표 3에서 볼 수 있듯이 모빌리티 서비스 이용 특성에 따라 택시, 수요응답형 교통수단, 특별교통수단의 네트워크 활용 정도가 다르

TABLE 2. Frequency of the Network of Mobility Services

Mobility Service	O-D Matrix		Frequency of Network	
Taxi				
	Service Demand	172	Using Network ratio	0.492
DRT				
	Service Demand	481	Using Network ratio	0.673
STS				
	Service Demand	129	Using Network ratio	0.199

게 분포하고 있음을 알 수 있다. 모빌리티 수단별 서비스 1회당 이동 거리는 비슷한 수준으로 나타났다. 하지만, 특별교통수단의 경우 서비스 제공 시 활용하는 네트워크가 전체 네트워크의 20% 정도이며, 활용하는 네트워크가 특정 네트

워크에 치중된 것으로 분석된다. 반면 수요응답형 교통수단의 경우 서비스에 활용하는 네트워크의 빈도가 대체로 골고루 분포된 것으로 관측된다. 이처럼 모빌리티 서비스별 통행 특성과 통행량, 기종점의 패턴 등에 따라 사용하는 네

TABLE 3. Characteristics and demand of mobility service

Mobility Service		Taxi	DRT	STS
Total Distance of Service (km)		263.855	1102.726	253.353
Average Distance per Service (km)		1.534	2.293	1.964
Travel Frequency by Network	max	30	46	58
	average	4.746	9.778	5.955

트위크의 공간적 분포에 차이가 발생하는 것을 알 수 있다.

2. 도로환경에 따른 자율주행 난이도 분석 결과

실제 도로 네트워크를 기반으로 자율주행 난이도를 적용하기 위해 도로 환경 조사를 진행하였다. 도로 환경 조사를 하는 네트워크는 국가 교통DB의 교통 수요소분석 네트워크를 기반으로 710개의 노드와 1,656개의 도로 네트워크로 정의하였으며, 그림 3과 같이 개별 링크 단위 네트워크의 자율주행 적용 난도를 도출하기 위해 연구 범위의 1,656개의 도로 네트워크에 대한 현장조사를 실시하였다. 운행설계영역에 정의된 282개의 세부 항목 중 국내 도로 시설물과 인프라에 해당하는 98개의 항목으로 도로의 도로 시설물(교차로, 터널, 교량, 신호등 등), 구역 특성(어린이 보호구역, 노인 보호구역, 제한속도 등), 차로 특성(전용 차로, 구간 단속, 차선 형태 등) 등으로 조사하는 시점에서 동적으로 변하지 않는 정적 시설물에 대한 운행설계영역을 조사하였다. 이를 바탕으로 개별 링크 단위 네트워크의 자율주행 적용 난이도를 도출하였다.

1,656개의 도로 네트워크 중 약 57%에 달하는 도로 구간의 자율주행 적용 난이도가 1(적용 쉬움)에 해당하며, 자율주행 적용 난이도 2(적용 보통)인 구간은 39%, 3(적용 어려움)은 4%, 난이도 4(적용 불가능)는 1%로 도출되었다. 세종시 행복도시 1생활권의 경우, 계획도시로 도로 환경 시설물 정비가 우수하여 약 95%의 네트워크에서 자율주행 적용 난이도가 쉬움에서 보통으로 나타나는 것으로 판단된다. 도로 환경 기반 네트워크별 자율주행 난이도는 그림 4와 같다.

3. 자율주행 모빌리티 도입 여건 비교 분석 결과

앞장에서 분석한 모빌리티 서비스별 네트워크 통행 빈도와 네트워크별 자율주행 적용 난도를 통해 자율주행 도입 지수를 산출하고자 한다. 네트워크별 자율주행 적용 난도 대비 모빌리티 서비스별 네트워크 사용 빈도를 통해 자율주행 도입 지수를 산출하였으며, 자율주행 도입 지수는 식 1과 같다. 모빌리티 서비스별 네트워크 통행 빈도와 자율주행 적용 난도의 특성이 다르므로 데이터를 0에서 1 사이의 값으로 정규화



FIGURE 3. Example of road environment analysis

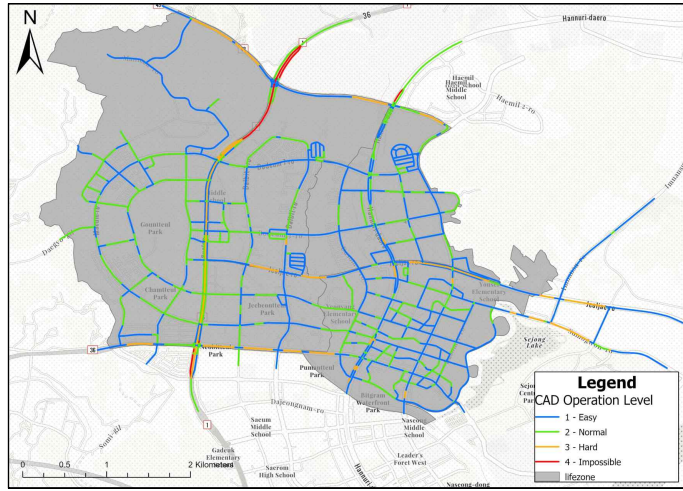


FIGURE 4. Autonomous operational level

하여 지수(Index for Autonomous Driving Applicability)를 도출하였다.

$$\text{Automated Driving Applicability Index (1)} = \frac{\text{Travel Frequency}}{\text{Operational Level}}$$

모빌리티 서비스별 자율주행 적용 지수를 도출한 결과는 표 4와 같다. 분석 결과, 특별교통수단의 경우 자율주행 적용 지수가 4로 가장 큰 값을 가지는 모빌리티 서비스로 도출되었다.

자율주행 난이도에 따른 네트워크 수요의 분포는 표 5와 같다. 1사분면은 네트워크에 할당된 교통수요가 많고, 자율주행 적용 난도가 높은 영역이며 2사분면은 교통수요가 적고 자율주행 적용 난도는 높은 영역으로 자율주행 적용이 다른 사분면 중 가장 어려운 영역이다. 3사분면은 네트워크에 할당된 교통수요가 적고 자율주

행 적용 난도도 낮은 영역이며, 4사분면은 네트워크에 할당된 교통수요가 많으면서 자율주행 적용 난도도 낮은 영역으로 자율주행 도입 가능성이 가장 큰 영역이다. 택시의 경우 4사분면은 전체 교통 수요 중 0.12%, 수요응답형 교통수단은 3.14%, 특별교통수단의 경우 3.33%로 나타나며, 특별교통수단이 자율주행 난도 대비 할당된 교통수요가 가장 많은 네트워크를 가지는 모빌리티 서비스로 도출되었다.

또한, 본 연구에서는 네트워크별 길이가 상이하다는 점을 고려하여 모빌리티 서비스별 네트워크 연장을 기준으로 자율주행 난이도 분포를 표 6와 같이 살펴보았다. 모빌리티 서비스 중 특별교통수단의 경우 전체 서비스 구역 중 약 61.4% 구간에서 자율주행 적용 난이도가 1으로 도출되었으며, 택시와 수요응답형 교통수단이 그 뒤를 잇는다. 도로 환경적 측면에서 자율주행기반 모빌리티 서비스를 제공하기에 비교적

TABLE 4. Index for automated driving applicability

Mobility Service		Taxi	DRT	STS
Autonomous driving applicability index (Demand of Network /Operational Level)	min	0.017	0.023	0.034
	max	1.379	3.172	4
	median	0.103	0.379	0.138
	average	0.165	0.518	0.323
	standard deviation	0.177	0.501	0.546

TABLE 5. Distribution of operational level by demand of network

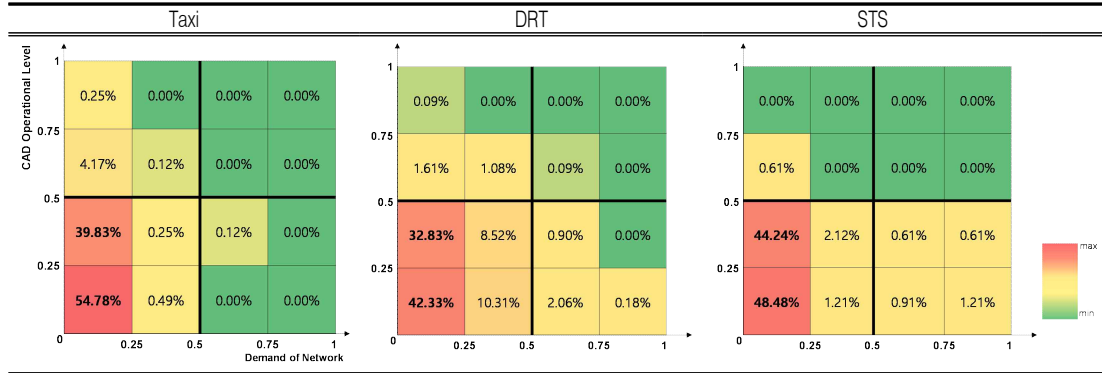


TABLE 6. Distribution of ODD level by mobility service

Mobility Service	Taxi		DRT		STS		
	Length(km)	Ratio	Length(km)	Ratio	Length(km)	Ratio	
ODD Level	1	147.317	0.558	606.944	0.550	155.439	0.614
	2	89.793	0.340	432.074	0.392	96.508	0.381
	3	25.475	0.097	63.583	0.058	1.406	0.006
	4	1.270	0.005	0.124	0.001	0	0

유리한 환경 또한 특별교통수단으로 분석된다.

결론

본 연구는 세종시 행복도시 1생활권이라는 서비스 영역 내 기존 모빌리티 서비스의 특성을 비교 분석한 결과를 바탕으로 자율주행기반 모빌리티 서비스 적용 검토 가능성을 살펴보았다. 이를 위해 모빌리티 서비스별 OD를 추출하여 최단거리 네트워크를 산정하고 산정된 최단거리 네트워크를 통해 통행 빈도를 네트워크에 할당하였다. 또한 네트워크별 도로환경조사 결과와 전문가 설문조사를 통해 도출된 운행설계영역 난도를 활용하여 세종시 행복도시 1생활권의 네트워크별 운행설계영역 난도를 산정하였다. 기존 모빌리티 서비스의 수요가 할당된 네트워크와 그 네트워크의 자율주행 난도를 통해 자율주행 적용 지수를 산출하였으며 자율주행 난도별 통행 분포를 살펴보았다. 그 결과, 자율주행 도입 시 자율주행 적용 난도 대비 기존 통행 수요를 만족시킬 수 있는 모빌리티 서비스는 특별교

통수단으로 도출되었다. 자율주행 도입은 교통수요와 운행설계영역 난도에 의해서 이루어지는데, 교통수요는 택시나 수요응답형 교통수단과 같이 분산된 형태보다 특별교통수단처럼 밀집된 형태에서 서비스 제공이 효율적인 것으로 분석된다.

자율주행기반 모빌리티 서비스가 도입되기 위한 도입 여건은 도로 환경적인 물리적 특성뿐만 아니라 자율주행 기술력, 디지털 인프라 유무, 날씨 등 많은 고려 요소가 존재한다. 또한 물리적 도로 환경 이외에도 디지털 인프라의 유무나 자율주행 기술력 등으로 네트워크별 자율주행 난도는 달라질 수 있다. 하지만, 본 연구에서는 자율주행 도입 여건 중 물리적 도로 환경만을 고려하여 자율주행 적용 지수를 도출하였다는 점에서 한계점을 가진다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 전문가 조사를 바탕으로 한 자율주행 운행설계영역 난도를 도출하였으며, 도출된 난도를 바탕으로 모빌리티 서비스별 자율주행 적용 가능 지수를 제시하였다는 점에서 의의를 가진다.

향후 자율주행기반 모빌리티 서비스를 제공하

기 위한 디지털 도로 인프라의 효과적인 도입을 위해 정밀도로지도를 활용하여 운영 측면과 안전 측면의 모빌리티 서비스 도입 전략을 개발하고자 한다. 정밀도로지도는 자율주행 서비스의 상용화를 위해 지도 제작 및 활용에 관한 연구 (Kwon *et al.*, 2021; Won *et al.*, 2020; Park *et al.*, 2019)가 활발히 진행되고 있는 만큼 향후 연구에서 정밀도로지도를 활용한다면 자율주행 서비스 상용화에 보다 실질적이고 효과적인 결과로 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 향후 자율주행기반 모빌리티 서비스를 제공하기 위한 디지털 도로 인프라의 효과적인 도입을 위해 정밀도로지도를 활용하여 운영 측면과 안전 측면의 모빌리티 서비스 도입 전략을 개발하고자 한다. 이를 위해 자율주행 모빌리티 기술력 및 디지털 도로 인프라의 동향을 조사하고 네트워크 구간별 적정 필요 인프라를 제시하는 연구를 진행하여 효과적인 모빌리티 서비스를 제공할 수 있는 최적 네트워크를 도출 및 활용방안 제시가 필요할 것으로 판단된다.

KAGIS

REFERENCES

- Ahn, H.J., Y.I. Lee. 2006. Research on modeling and application of public transportation OD and network based on stations, Journal of Korean Society of Transportation. 54: 13-22 (안형준, 이영인. 2006. 정류장 기반 대중교통 OD 및 네트워크 구축과 활용방안에 관한 연구. 대한교통학회 학술대회지, 54:13-22).
- Bielli, M., M. Caramia and P. Carotenuto. 2002. Genetic algorithms in bus network optimization. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 10(1):19-34.
- Fan, W., R.B. Machemehl. 2006. Optimal transit route network design problem with variable transit demand: genetic algorithm approach. Journal of transportation engineering. 132 (1):40-51.
- Jang, K.Y., H.B. Kim, H.S. Park and S.B. Park. 2011. A Study of Origin and Destination Decision for a Direct Bus Line in a City with Transit Mobility and Potential Demand, Journal of the Korean Society of Civil Engineers D. 31(4):547-553 (장경욱, 김황배, 박홍식, 박선복. 2011. 대중교통 이동성과 잠재수요를 이용한 도시 내 지역 간 직결노선버스 기종점 선정에 관한 연구. 대한토목학회 논문집D, 31(4):547-553).
- Korea Transportation Safety Authority(TS). 2021. <https://www.kotsa.or.kr/portal/contents.do?menuCode=01080500> (Accessed November 01, 2022).
- Kwon Y.H., Y.J. Choung, H.J. Cho and B.Y. Gu. 2021. A Study on Building the HD Map Prototype Based on Web GIS for the Generation of the Precise Road Maps. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies. 24(2): 102-116 (권용하, 정윤재, 조현지, 구본엽. 2021. 정밀지도 제작을 위한 Web GIS 기반 HD Map 프로토타입 구축 연구. 한국지리정보학회지 24(2):102-116).
- Lee, C.H., S.Y. Kim and J.S. Choi. 2014. A Study on Low-Floor Bus Routes Selection - Focused on the Case of Jeollabuk-Do, The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. 13(4):73-85 (이창현, 김상엽, 최재성. 2014. 저상버스 노선선정 방안에 관한 연구. 한국ITS학회 논문지 13(4):73-85).
- MOLIT, KAIA. 2022. Final Report of Empirical Research on Public Transportation Systems Utilizing Autonomous Driving (국토교통부, 국토교통과학기술진흥원. 2022. 자율주행기반 대중교통시스템 실증연구 최종보고서).

- MOLIT, KAIA. 2022. Final Report on Urban Road Autonomous Driving Cooperative Driving Safety and Infrastructure Research (국토교통부, 국토교통과학기술진흥원. 2022. 도심도로 자율협력주행 안전·인프라 연구 최종보고서).
- MOLIT, Land, Infrastructure and Transport. 2020. Act On Promotion Of The Transportation Convenience Of Mobility Disadvantaged Persons Article 2 (교통약자의 이동편의 증진법 제2조).
- National Highway Traffic Safety Administration. 2018. A Framework for Automated Driving System Testable Cases and Scenarios.
- Park Y.K., W.P. Kang, J.E. Choi and B.J. Kim. 2019. A study on the evaluation of real-time map update technology for automated driving. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 22(3):146-154 (박유경, 강원평, 최지은, 김병주. 2019. 자율주행 지원을 위한 정밀도로지도 갱신기술 평가를 위한 기준 도출 연구. *한국지리정보학회지* 22(3):146-154).
- Park, J.H., K.W. Nam. 2015. A Study on the Low-Floor Bus Route Selection Considering a Residential Distribution and Traffic Characteristics of the Transportation Vulnerable: A Case of Busan, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 18(2):161-173. (박지호, 남광우. 2015. 교통약자의 거주 분포와 통행특성을 고려한 저상버스 노선 선정: 부산시를 사례로. *한국지리정보학회지*, 18(2):161-173).
- SAE. 2020. SAE J3216, Surface Vehicle Information Report:(R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles.
- SAE. 2021. SAE J3016, Surface Vehicle Recommended Practice:(R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.
- Son, S.Y., J.Y. Lee and K.H. Jang. 2021. Development of Demonstration Scenarios for Autonomous Cooperative Driving on Urban Roads. *Transportation Technology and Policy*. 18(5):61-68 (손승녀, 이지연, 장기훈. 2021. 도시부 도로 자율협력주행 실증 시나리오 개발. *교통기술과정책*, 18(5):61-68).
- Won S.Y., Y.J. Jeon, H.W. Jeong, C.O. Kwon. 2020. A Comparison of Korea Standard HD Map for Actual Driving Support of Autonomous Vehicles and Analysis of Application Layers. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 23(3):132-145 (원상연, 전영재, 정현우, 권찬오. 2020. 자율주행자동차 실주행 지원을 위한 표준 정밀도로 지도 비교 및 활용 레이어 분석. *한국지리정보학회지*. 23(3):132-145). 